

第1章

高速無線通信に対応した小型モジュールの作りかた

要求仕様やコストに見合った通信方式，部品，形状を選定する

青木幹雄

近年，多くの無線通信方式が提案され，標準化が進められている．開発する無線機器に応じて，伝送速度や伝送距離などを適切に選ぶ必要がある．同時に，消費電力や外形寸法，コストについても十分考慮しなければならない．ここでは，最近の無線通信規格の標準化動向をまとめる．また，筆者らが試作したCertified Wireless USBモジュールを例にとり，小型化を実現するための部品の選びかたや設計上の注意点を説明する．（編集部）

近年，「ユビキタス」というキーワードの広がりとともに，いつでもどこでもなんらかの方法でなんらかの情報ネットワークに接続することが製品に求められてきています．生活環境の中で，ユーザが意識せずに情報ネットワークを利用できるようにするためには，無線機能が不可欠です．

現在，無線LAN搭載機器や携帯電話などが普及していますが，それらでカバーすることが難しい部分もあります．そこで，想定される利用状況やアプリケーションごとに細分化された，さまざまな無線通信標準規格が登場しています．これらの無線規格を利用して，将来的には，身の回りのありとあらゆるものに無線機能が搭載されていくものと考えられます．

本稿では，まずIEEE（Institute of Electrical and Electronic Engineers；電気電子学会）で標準化されている近距離および中距離の無線通信規格を中心に，最近の動向をまとめます．次に，2006年8月にようやく国内で正式に認可されたUWB（ultra wideband；超広帯域無線システム）について概要と動向を解説します．最後に，Certified Wireless USBモジュールの設計を例に，小型無線モジュールを設計するときの注意点を説明します．

1 さまざまな無線標準規格を使い分ける

無線通信標準規格は，通信距離によりおおまかに次の三つのカテゴリに分類できます．

1）無線MAN，無線WAN

一つ目は，携帯電話など，比較的長距離で，基地局やアクセス・ポイントが必要となる広域無線ネットワークです．これらは無線MAN（metropolitan area network），無線WAN（wide area network）と総称されます．

このカテゴリで注目を集めているものとして，一般に「モバイルWiMAX」と呼ばれている，IEEE 802.16e規格に準拠した無線ネットワークが挙げられます．インフラが整備されれば，外出先から数Mbps～数十Mbpsの速度で無線ブロードバンド・アクセスが可能になります．現在，国内でも実証実験が進められています．

2）無線LAN

二つ目は，無線LAN（local area network）など，数十m～100m程度の距離で通信するための無線規格です．すでに広く普及しているIEEE 802.11a/b/gに準拠した無線LANが代表的です．

現在，さらに高速化を図ったIEEE 802.11nの標準化が進められています．この規格はMIMO（マイモ）（multi input multi output）技術により，送受信側ともに複数のアンテナと複数の経路を使って通信することで，100Mbpsを超える伝送

KeyWord
UWB，無線WAN，無線MAN，モバイルWiMAX，無線LAN，IEEE 802.11n，MIMO，無線PAN，ZigBee，IEEE 802.15.4a，ECMA-368，ECMA-369，Certified Wireless USB，ISP3582，RTU7011

速度を実現します．現在は，ドラフト規格に細かい修正を加える作業が続けられています．2007年前半に規格が固まり，2008年4月に標準化が完了する予定です．IEEE 802.11nに準拠した製品は，規格が固まりしだい，すぐに市場に出てくると思われます．

3）無線PAN

三つ目は，無線PAN（personal area network）と呼ばれ，数m～数十mの近距離で通信するための無線規格です．携帯電話などに搭載されて普及が進んでいるBluetoothに加え，最近は超広帯域を使って高い伝送速度（例えば480Mbps）を実現可能なUWBが注目されています．

また，センサ・ネットワークなどに向けて，伝送速度を低く抑えた分，使いかたによっては半年から1年以上の電池寿命を持つZigBee（IEEE 802.15.4）も実用化が始まっています．さらに，無線タグなどに高精度位置検出機能を持たせることで，物や人の位置をリアルタイムに把握することが可能となるIEEE 802.15.4aの標準化も進んでいます．

これらの規格について，距離と伝送速度という切り口で位置づけを表したのが図1です．

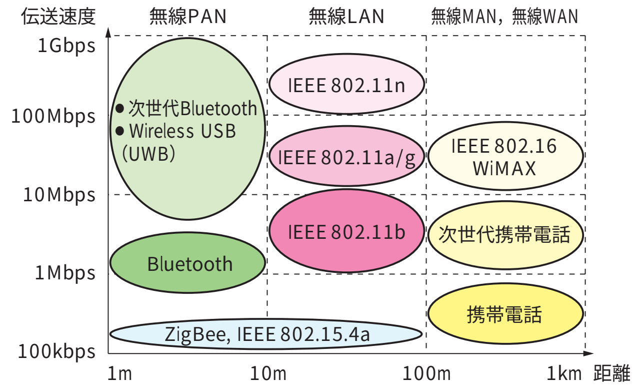


図1　無線標準規格の位置づけ

使用されることの多い距離，伝送速度を表している．実際のスループットはこの図より低くなる．

例えば，IEEE 802.11nとUWBはどちらも100Mbpsを超える伝送速度が得られます．携帯機器に組み込む場合は，複数のアンテナが必要で高周波系を複数持つIEEE 802.11nよりも，UWBを選択したほうが通信距離は短いものの，消費電力的には有利になると考えられます．

また用途によっては，データを保護するためのセキュリティや，映像データを送るために著作権を保護するしくみとの親和性などについても考慮する必要があります．

● アプリケーション要件が定まれば使う規格が絞れる

利用できる無線規格が増えてくると，各規格が想定するアプリケーション分野が重なってきます．無線規格を選択する際は，必要な伝送速度や通信距離をまず念頭に置きます．そのほかにも形状やコスト，接続形態，あるいは普及度といった観点で考えると，使用できる規格が絞られてきます．各種無線規格を比較したものを表1に示します．

● 増え続ける標準規格，将来性の見極めも重要

現在も，IEEEを中心に新しい無線通信規格の検討が進められています（表2）．ただし，せっかく標準化した規格でも，統合されたり，淘汰されていくものも出てくると思われます．例えば，IEEE 802.15.3は高速無線PANとして

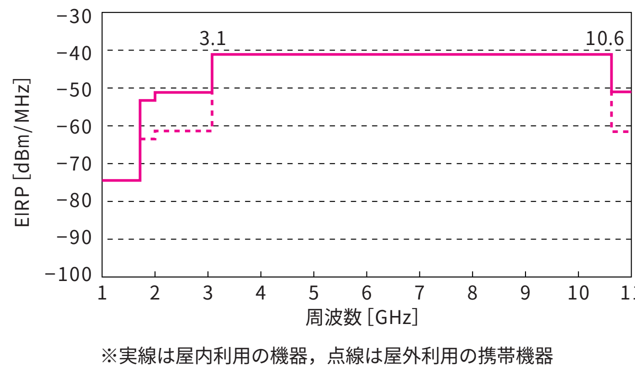
1

表1　無線規格の比較

規　格	無線LAN				無線PAN				無線WAN 無線MAN
	IEEE 802.11a	IEEE 802.11b	IEEE 802.11g	IEEE 802.11n	Bluetooth IEEE 802.15.1a	UWB	ZigBee IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.4a	WiMAX IEEE 802.16e
認証団体 業界団体	WiFi Alliance	WiFi Alliance	WiFi Alliance	WiFi Alliance	Bluetooth SIG	WiMedia Alliance, USB-IF	ZigBee Alliance	—	WiMAX Forum
周波数 ［GHz］	4.9～6.0	2.4～2.5	2.4～2.5	2.4～2.5 4.9～6.0	2.402～2.480	3.1～10.6 （米国）	0.8帯 2.4～2.5	0.25～0.75 2.4帯 3.1～10.6	2.0～6.0の うちの一部
伝送速度 ［bps］	最大54M	最大11M	最大54M	100M以上	1M 3M（EDR）	最大480M	最大250k	最大27M	最大75M
通信距離 ［m］	100	100	100	100	100 （Class1）	10	70	30	最大5k
規格策定 終了時期	標準化済	標準化済	標準化済	2008年 （予定）	標準化済	標準化済 （ECMA368/369）	標準化済	2007年 （予定）	標準化済
アプリケー ション	無線LAN 映像伝送	無線LAN	無線LAN 映像伝送	無線LAN 映像伝送	携帯機器 携帯電話 パソコン	Wireless USB 次世代Bluetooth 映像伝送	センサ・ ネットワーク	センサ・ ネットワーク 位置検出	パソコン ラストワン マイル

表2　標準化中の無線通信規格

無線通信規格		主なアプリケーション・用途
無線LAN	IEEE 802.11p	自動車の無線アクセス向け
	IEEE 802.11s	メッシュ・ネットワーキング
無線PAN	IEEE 802.15.3c	ミリ波（60GHz）帯を使った超高速通信
	IEEE 802.15.SG4c	中国における無線PAN周波数帯のスタディ・グループ
	IEEE 802.15.SG4d	日本で検討中である950MHz帯のスタディ・グループ
	IEEE 802.15.5	メッシュ・ネットワーキング
	IEEE 802.15 IG BAN	BAN（body area network）のIG（Interest Group）
広域無線ネットワーク	IEEE 802.20	モバイル・ブロードバンド・ワイヤレス・アクセス
	IEEE 802.22	テレビの空きチャネルを利用するネットワーク（WiTV）



（a）米国

図2　各国のUWBスペクトラム・マスク(3),(5),(10)

（a）の米国と（b）の日本のスペクトラム・マスクは認可済み．（c）の欧州のスペクトラム・マスクは検討中の案．

2003年に標準化されましたが，これを物理層として使ったアプリケーションは登場しませんでした．

いろいろな機器との接続が想定される場合，採用しようとする無線標準規格の発展性や拡張性についてよく調べ，今後も長く使われていくかどうかを見極めることがたいせつです．

2　話題のUWB，応用製品は？ 法整備は？

UWBは，1960年代から米国で軍事技術として研究が進められてきました．1998年に民生利用を求める活動が始まり，2002年2月14日にFCC（Federal Communications Commission；米国連邦通信委員会）により認可されました．これを受け，各国でもUWB認可に向けた検討が始まりました．同時に高速通信用として注目した半導体メーカによるUWB対応デバイスの開発が急速に進められるようになりました．

● UWBの特徴は「高速，高精度位置検出，低電力密度」

FCCはUWBを，「最大放射電力から10dB低い電力における帯域幅が500MHz以上，または中心周波数に対して20%以上の帯域幅を持つもの」と定義しています．日本では同様な帯域幅が「450MHz以上を持つもの」と規定されています．

UWBは，電力密度が低く，極めて広い帯域を使って通信するため，すでにほかの用途に使われている周波数を共用する形で使うことになります．

UWBを通信に使うと，非常に高速なデータの伝送が行えるので，HDTV（high definition television）映像のワイヤレス伝送や，短時間に大量のデータを送る必要がある機器（例えば，ディジタル・カメラや携帯型メディア・プレーヤなど）への応用が期待されています．通信のほかにも，高い精度で位置検出を行えるという特性を利用して，車載レーダや壁面透視などへも応用できます．

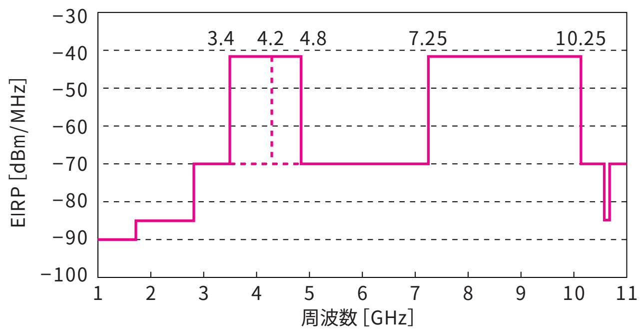
● IEEEでは決裂，業界団体が独自に標準化を進める

IEEEでは，2002年からIEEE 802.15.3aとして高速データ伝送のための標準化が進められてきました．しかし残念ながら，異なる方式の提案を一本化することができず，2006年1月の会合で解散が決議されました．

並行して，業界を代表する数多くの有力企業が参加しているWiMedia Allianceでは，MB-OFDM（multi band-orthogonal frequency division multiplexing）方式を使って物理層（PHY：physical layer），MAC（media access control），MPI（MAC-PHY interface）の三つを標準化しました．

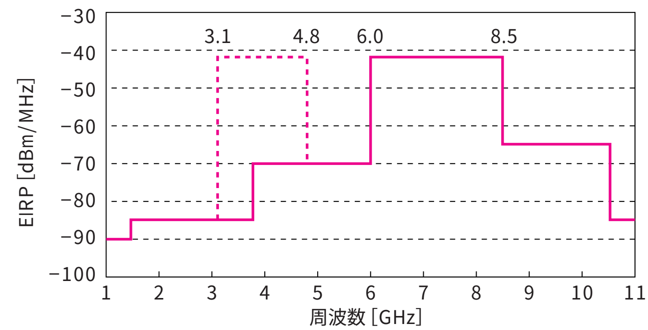
同団体のこの標準規格は，ECMA（European Computer Manufacturer's Association；ヨーロッパ電子計算機工業会）において，ECMA-368(1)，ECMA-369(2)として承認されています．

MB-OFDM方式は，1バンド当たり528MHzを割り当て，3.1GHz～10.6GHzの間を14のバンドに分割して使用します．三つのバンドをひとまとめにしてバンド・グループとし，バンド・グループの中で周波数ホッピングをしま



※3.4GHz～4.8GHzはDAA機能付きの機器のみ−41.3dBm/MHz
※4.2GHz～4.8GHzは2008年12月末日までDAAなしで使用可能

(**b**) 日本



※3.1GHz～4.8GHzは今後検討を継続する．DAA機能付きの機器のみ−41.3dBm/MHzとなる可能性が高い
EIRP：effective isotropic radiated power（実効放射電力）

(**c**) 欧州（暫定案）

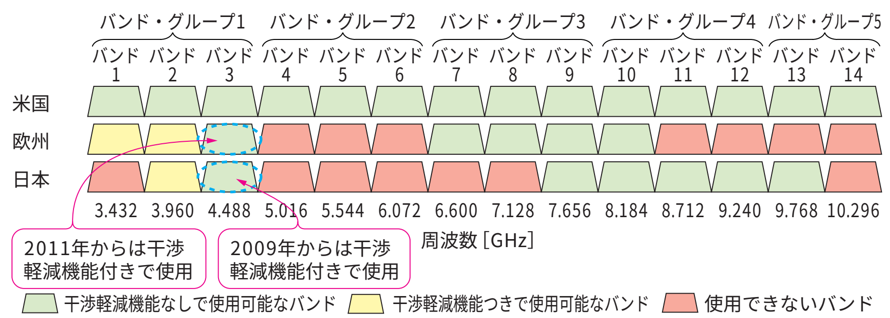


図3
各国で使用できるWiMediaのバンド(8)
欧州の割り当ては見込み．日本が干渉軽減機能なしで使える期間が2008年末までと短い理由は，他国より4G携帯が早く立ち上がることが予想されるため．

す．各バンドは128本の搬送波を使用するOFDMを採用し，最大480Mbpsで通信できます．

● 製品化にあたっては各国の法整備を理解しておく

米国では，通信用のUWB向けに3.1GHz～10.6GHzが認可されています．UWBについてはFCC規則(3)のPart15 Subpart Fとして規則が定められています．

欧州では，現在UWBについての議論が進められているところです．今のところ，6.0GHz～8.5GHzの帯域が認可されるのはほぼ確定していますが，3.1GHz～4.8GHzについては検討を継続することになっています．また，8.5GHz～9.0GHzについても過去の経緯を踏まえて認可できないかどうか，議論が進められています．

国内では2006年8月1日，「超広帯域無線システムの無線局」について改正を行う総務省令(4)～(6)が発布されました．米国に次いで世界で2番目にUWBが正式に認可されたことになります．これを受けてTELEC（テレコムエンジニアリングセンター）が試験方法(7)を定め，技術基準適合証明を実施しています．ただし総務省令では，今のところ50Mbps以上の伝送速度を持つシステムに限っています．低速なUWB無線システムについては今後審議されることになっています．

各国で認可された，または認可される見込みのスペクトラム・マスクは，**図2**のようになります．また，MB-OFDM方式のバンドと重ね合わせ，各国で使用できるバンドをわかりやすく表したものを**図3**に示します．

日本ではDAA（detect and avoid）などの干渉軽減機能を搭載しない機器は，バンド2を使用することができません．欧州でも干渉軽減機能の搭載を前提として認可される見込みです．DAAとは，ほかの無線局が出す電波を検出した場合，その帯域を避けて通信を行い，ほかの無線局との干渉を防ぐしくみです．MB-OFDM方式の場合，バンドが複数あるため，ほかの無線局が使用しているバンドを使用しないか，またはOFDMが複数の搬送波の集合体であることを利用して，必要最小限の搬送波しか出さないようにする方法などが考えられています（**図4**）．

しかし，どのような方式を干渉軽減機能として認めるかは，まだ総務省で検討中です．したがって，現在のところ日本で使用できるのは，バンド3のみということになります．

また，6GHz以上の帯域では，各国で共通する帯域が2バンドしかありません．国際的な活動を考慮すると，共通の帯域を増やし，さらなる利便性を確保したいところです．

● USBやBluetoothへの応用に期待

Certified Wireless USBはUSB-IF(USB-Implementers Forum)が標準化した規格で，WiMedia Allianceの無線通信規格を使ってUSB 2.0を無線化するものです．2.4GHz帯を使う無線のUSB接続も存在するため，USB-IFが標準化したものをとくにCertified Wireless USB(以下，Wireless USBとする)と呼びます．WiMedia Allianceの規格では伝送速度を最大480Mbpsとしており，有線と同等の伝送速度を維持したままUSB 2.0を無線化できます．

同じ通信規格を使って，Bluetoothを高速化する検討もBluetooth SIG(Special Interest Group)で進められています．プロトコル・スタックなど，今まで蓄積されているソフトウェア資産を活用できるので，伝送速度がネックとなってあまり使われていなかったBluetoothプロファイルの一つである，VDP(Video Distribution Profile)などへの応用が期待されます．

● 無線モジュールを利用するメリット

無線機能をパソコンや家電機器などの製品に組み込みたい場合，モジュールがあると便利です．モジュールを使わずに，製品のメイン・ボードに無線機能を直接実装したほうが，コストや小型化の観点から有利だと思われるかもしれませんが，かならずしもそうとは言えません．

まず，無線機器を製造していないメーカの場合，製品の出荷検査のためには高周波用の高価な測定器を導入する必要があります．加えて，無線部分の調整工数や検査工数が必要になります．

また，無線機能を組み込んだ機器は，使用される国の電波法に対応した認証や証明を取得しなくてはなりません．

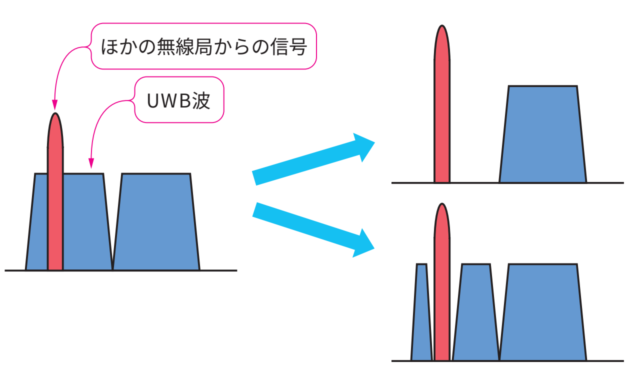


図4　DAA

DAAは，ほかの無線局からの信号を検出したら，その帯域では電波を発射しないようにする機能．

さらに，標準規格に適合していることを証明するロゴを製品に表示するためには，業界団体などのロゴ認証を受ける必要があります．

これらを解決するために，最新の実装技術を駆使して小型化されており，かつ，あらかじめ調整・検査され，すでに認証を取得している無線モジュールを使用することで，無線機能を製品に組み込むことが容易になります．また，すばやく製品を市場へ投入できるようになります．

3　無線通信モジュールのための部品選択

WiMedia Allianceの通信規格に準拠した第1世代のモジュールは，ローバンドと呼ばれるバンド1～バンド3，すなわち3.168GHz～4.752GHzを使います．

UWB無線システムは極めて広い帯域を使用するため，使用する部品も特殊なものが必要になります．UWB無線システム専用に選定しなければならない主な高周波部品は，アンテナ，フィルタ，バランです．これらの部品は，初期に登場した部品よりずっと小型化が進んでいます(9)．

● アンテナ：VSWRが良くても利得が高いとは限らない

UWB無線システムに使用するアンテナは，広い帯域に渡って，平たんな特性を持つことが重要です．アンテナの特性を表す代表的な指標の一つに，VSWR(voltage standing wave ratio；電圧定在波比)特性[注1]があります．アンテナの特性を評価するときは，VSWR特性とともに，効率や利得についても気を配る必要があります．ここで，VSWR特性が良ければ，効率や利得も高いとは限らないことに注意が必要です．

アンテナは，USBドングルなどのようにモジュールの基板上に搭載する場合と，モジュール上には搭載しない場合があります．

UWBアンテナの例として，**写真1**にUWB用の小型セラミックス・アンテナを示します．このアンテナは携帯機器に組み込んで使うことを想定しており，アンテナ素子の大きさは8.0mm×6.0mm×1.0mmと小型です．写真のようにグラウンド・プレーンとともに使用します．実際に，プ

注1：VSWRとは，簡単に言うとアンテナ側と回路側でどのくらいインピーダンス整合がとれているかを表す数値．日本語では電圧定在波比というように比で表すため，1：1の場合，すなわちVSWR＝1.0のときが完全に整合している状態を表す．また，VSWRが1より小さくなることはない．



写真1　UWB用小型セラミックス・アンテナ

グラウンド・プレーンとともに使用する．アンテナ素子の外形寸法は8.0mm×6.0mm×1.0mm．

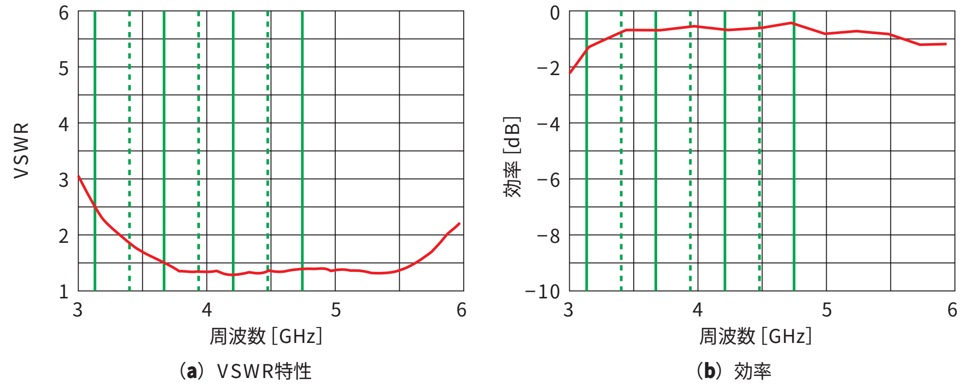


図5　UWB用小型セラミックス・アンテナの特性

写真1のアンテナは3.1GHz～5GHzに最適化されている．グラフの中の緑色の縦線は，WiMedia Allianceの通信規格で定められたバンド（実線）とその中心周波数（点線）を表している．通常，小型モジュール用のアンテナの場合，VSWR＝2.0以下なら普通に使用でき，VSWR＝3.0程度なら許容範囲内といえる．効率は0dBに近いほうがよい．無指向性アンテナの利得は，理論限界値が0dBiなので，指向パターンの凹凸が小さく（つまり，指向性の「球」に凹凸が少なく），平均利得が0dBiに近いものがよいアンテナといえる．

リント基板の内層にグラウンド層を入れてグラウンド・プレーンとすれば，基板表面に部品を実装できます．写真のアンテナは，ローバンドでの使用に特性を最適化してあります．このアンテナの特性を図5に示します．

● フィルタ：法規制や応用製品を考慮して選ぶ

UWB無線システムには，使用する帯域以外からの干渉を避け，かつ，帯域外に妨害を与えないように，アンテナと物理層チップの間に特定の帯域だけを通過させるバンド・パス・フィルタ（帯域通過フィルタ）を入れる必要があります．

搭載する機器とアプリケーションにより，2.4GHz帯や5GHz帯の無線LAN，非常に微弱な信号を受信するGPS（1.575GHz），携帯電話の帯域などにおける減衰量がどのくらい必要か，よく検討したうえで選択する必要があります．

写真2はバンド1～バンド3に対応したセラミックス・フィルタです．大きさは2.0mm×1.25mm×1.0mmです．このフィルタの特性を図6に示します．日本ではバンド1は使用できないため，国内だけで使用する機器にはさらに通過帯域の狭いフィルタが必要になる場合もあります．

● バラン：物理層チップとフィルタの間に挿入

バラン（BALUN）は，平衡信号（balance）と不平衡信号（unbalance）を相互に変換するための部品です．

物理層チップの高周波入出力端子が平衡である場合，これを不平衡に変換したい際に使用します．通常，フィルタやアンテナは50 Ωのインピーダンスを持つ不平衡の入出力端子となっていることが多いため，チップとフィルタの間にバランを挿入します．



写真2　UWB用セラミックス・バンド・パス・フィルタ

WiMedia Allianceの通信規格で定められたバンド1～バンド3に対応している．外形寸法は2.0mm×1.25mm×1.0mm．

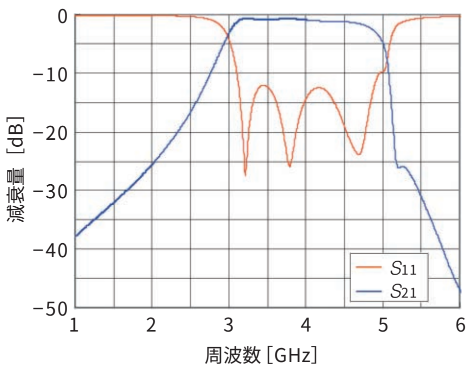


図6　UWB用セラミックス・バンド・パス・フィルタの特性

写真2のバンド・パス・フィルタの特性を示す．5GHz帯無線LANとの干渉を防ぐために，上側は急しゅんな特性となっている．

第1世代のUWB無線システム向けに，3.1GHz～4.8GHzに対応したバランが製品化されています．その大きさはUWBフィルタよりも小さく，最近では1.6mm×0.8mm×0.5mmの製品もあります．

4 Wireless USBモジュールに見る設計上の注意点

Wireless USBに準拠するモジュールは，大きく4種類に分けられます．ホスト側は，ノート・パソコンなどに組み込まれるネイティブ・ホストと，USBポートに差し込まれるHWA（Host Wire Adapter）があります．デバイス側は，Wireless USBハブなどのDWA（Device Wire Adapter）と，携帯機器などに組み込まれるネイティブ・デバイスです．

● 25.0mm×14.4mmの小型モジュールを試作

このうち，もっとも小型化を求められるのは，ディジタル・カメラなどに組み込まれるネイティブ・デバイス向けのモジュールです．筆者ら（太陽誘電）は，このネイティブ・デバイス向けのWireless USB小型モジュールを試作しました（**写真3**）．

ネイティブ・デバイス向けのMACチップとしては，オランダPhilips Semiconductors社注2の「ISP3582」を採用しました．このチップはWiMedia Allianceの定めるMAC 1.0に準拠しています．物理層側のインターフェースはMPI 1.0に準拠しています．また，ネイティブ・インターフェース（CPUやASSPなどとの接続インターフェース）として，DMA（direct memory access）機能付きの16ビット汎用I/OとSDIOを備えています．

一方，MPIを備えた物理層チップとして，台湾Realtek Semiconductor社の「RTU7011」を搭載しました．このチップはWiMedia AllianceのPHY 1.1規格に準拠しており，最大480Mbpsの伝送速度に対応しています．0.13μmのCMOSプロセスで製造されており，パッケージの外形寸法は7mm×7mmです．このチップのRF入出力は不平衡なので，外付けのバランは不要です．内部の構成は，**図7**のようになっています．

できるだけモジュールを小型化するために，コンデンサなどでは0603（0.6mm×0.3mm）のチップ部品を使用しています．モジュールのインターフェースは16ビットの汎用I/Oを採用しています．ディジタル・カメラなどへの搭載を想定して，モジュールの外形寸法は25.0mm×14.4mmにしました．モジュールの内部ブロック図を**図8**に示します．

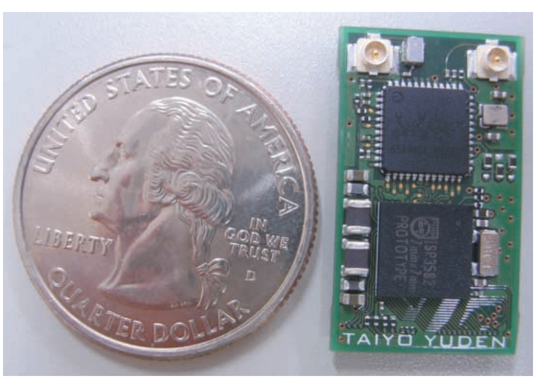


写真3　Certified Wireless USB対応ネイティブ・デバイス向け小型モジュール
大きさは25.0mm×14.4mm．

注2：2006年9月，オランダRoyal Philips Electronics社は半導体事業部であるPhilips Semiconductors社の分社化（新社名はNXP Semiconductors社）を発表した．

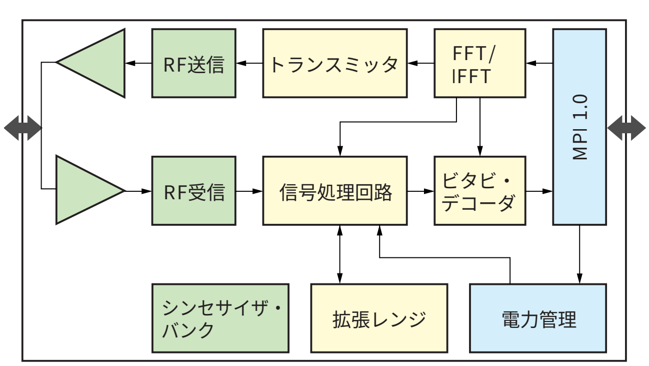


図7　RTU7011の内部構成
Certified Wireless USBの物理層に必要な機能が1チップに集積されている．

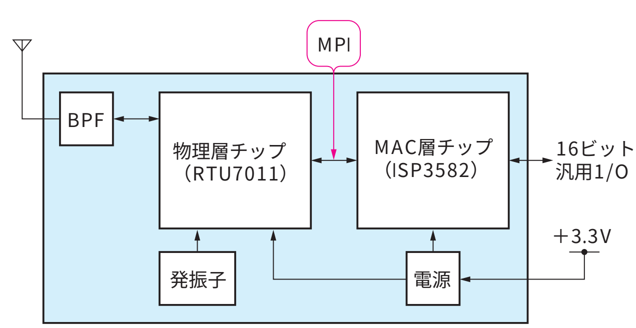


図8　モジュールの内部ブロック図
電源回路を内蔵しており，+3.3V単一電源で動作する．

● モジュール設計上の注意点

このような小型の無線モジュールを設計する際の注意点をいくつか紹介します．

1）電源系

モジュール内の電源系はアナログ電源，ディジタル電源，I/O電源が複雑に入り組んでいます．さらに，瞬間的に流れる電流がかなり大きくなることもあるため，配線の引き回しや太さに十分に注意する必要があります．

アナログとディジタルの電源系を分離するために，アナログ系にはフェライトビーズ（例えば，筆者らのBKシリーズ）などを挿入します．また，高周波系で使用される電源には，周波数に応じて数nH～20nH程度の高周波インダクタ（例えば，筆者らのHKシリーズ）を挿入すると効果があります．

2）高周波ライン

通常，半導体や部品の高周波入出力インピーダンスは50Ωです．このインピーダンスを得るには，プリント基板上に50Ωのマイクロストリップ・ラインを形成します．

このパターン幅は，おもに基板の誘電率，基板（誘電体）厚で決まります．例えば，今回のモジュールでは誘電率は4.3，表層から2層目（GND層）までの厚さは60μmです．細かい計算の過程は省略しますが，パターン幅は約0.1mmとなります．

3）設計ルール

モジュールを小型化するには，できるだけ小さな部品を，狭い間隔でプリント基板に実装します．実際には，プリント基板のL/S（line and space）や部品実装上の限界，部品やファイン・ピッチ・プリント基板のコストなどの制約が出てきます．モジュールの大きさやコストなどについて，全体の調和を考えて部品のサイズやプリント基板の設計ルールを決定します．

最近では，LTCC（low temperature co-fired ceramics；低温焼成セラミックス）を使って受動部品やフィルタなどを基板内に形成して部品点数を減らし，モジュールをさらに薄型化，小型化することもできます．LTCCは同じ厚さのプリント基板と比較して層数を多くすることができます．回路間のシールドが容易になり，材料の特性も良いので，高周波特性を出しやすくなります．初期コストが高く，基板の設計や試作に時間がかかるという欠点がありましたが，普及に伴って徐々に改善されつつあります．

参考・引用*文献

(1) Ecma International；Standard ECMA-368 High Rate Ultra Wideband PHY and MAC Standard 1st Edition, Dec. 2005. http://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-ST/ECMA-368.pdf
(2) Ecma International；Standard ECMA-369 MAC-PHY Interface Specification for ECMA-368 1st Edtion, Dec. 2005. http://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-ST/ECMA-369.pdf
(3) Federal Communications Commission（FCC）；Title 47 of the Code of Federal Regulations（47 CFR Part 15）, Aug. 14, 2006. http://www.fcc.gov/oet/info/rules/part15/part15-8-14-06.pdf
(4) 総務省；電波法施行規則の一部を改正する省令（平成18年総務省令第104号），2006年8月1日. http://www.soumu.go.jp/menu_04/s_hourei/pdf/sy_060801_06104_b.pdf
(5) 総務省；無線設備規則の一部を改正する省令（平成18年総務省令第105号），2006年8月1日. http://www.soumu.go.jp/menu_04/s_hourei/pdf/sy_060801_06105_b.pdf
(6) 総務省；特定無線設備の技術基準適合証明等に関する規則の一部を改正する省令（平成18年総務省令第106号），2006年8月1日. http://www.soumu.go.jp/menu_04/s_hourei/pdf/sy_060801_06106_b.pdf
(7) テレコムエンジニアリングセンター；超広帯域無線システムの無線局に使用するための無線設備の特性試験方法，2006年8月7日. http://www.telec.or.jp/NEW/files/060807.pdf
(8)* B.Hosler；Passing FCC Regulations and RF Design Considerations, Certified Wireless USB Developers Conference 2006 Taipei, Jun.2006. http://www.usb.org/developers/wusb/docs/presentations/Taipei06_BH_Passing_FCC_Regulations.pdf
(9) ミックアオキ；超高速無線技術UWBのしくみと実際，トランジスタ技術，2004年6月号，pp197-206.
(10)* European Conference of Postal and Telecommunications Administrations（CEPT）Electronic Communications Committee；ECC Decision of 24 March 2006 on the harmonised conditions for devices using Ultra-Wideband（UWB）technology in bands below 10.6 GHz（ECC/DEC/（06）04）, Mar.24, 2006. http://www.ero.dk/documentation/docs/doc98/official/pdf/ECCDEC0604.PDF

あおき・みきお
太陽誘電（株）

<著者プロフィール>
青木幹雄．Bluetoothなどの無線モジュール設計を経験後，2001年よりUWBの調査を開始．2002年から米国へ出向し，UWBの標準化，技術開発を担当．2005年に日本へ戻り，UWBモジュールの開発に従事．